

世界级胶东金矿集中区两类成矿地球动力学环境*

Two Geodynamic Settings for Mineralization in Jiaodong Gold Metallogenic Region

刘连登¹ 陈国华¹ 张辉煌¹ 张文钊² 颜秉蓬² 吴桂祥²

(1 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061; 2 武警黄金 7 支队, 山东 烟台 264001)
Liu Liandeng¹, Chen Guohua¹, Zhang Huihuang¹, Zhang Wenzhao², Yan Bingpeng², Wu Guixiang²
(1 College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China; 2 7th Branch for Gold,
Chinese People's Armed Police, Yantai 264001, Shandong, China)

摘 要 胶东金矿集中区, 累计探明黄金储量超过 1000 t。该区在中生代陆陆俯冲、碰撞过程, 地球动力学环境有 3 次演变。早期挤压、尔后为挤压-伸展和伸展地球动力学环境, 后两种环境对应形成与不同区域构造-岩浆活动系统有关、本质特征各异的中深热液金矿和浅成热液金矿。

关键词 造山期 地球动力学环境 金矿本质特征 胶东金矿集中区

世界级胶东金矿集中区, 拥有我国主要的超大型金矿和储量超过 200 t 的超大型金矿之冠, 两类成矿地球动力学环境对应的两类不同本质特征的金矿, 存在 2~3 次明金-块金独立成矿, 较广泛的早、晚两期金叠加成矿。上述实乃我国大陆边缘活动带金成矿的特殊之处, 在全球亦属罕见。本文侧重诠释目前尚未系统论述的、该金矿集中区内两类金成矿地球动力学环境, 并概略说明两类不同本质特征金矿的相关问题。

1 陆陆碰撞造山期金成矿地球动力学环境研究概述

上世纪 80 年代, 米契尔 (Mitchell, 1981) 等系统论述了不同类型矿床与板块构造地球动力学环境的关系。尔后, 哈钦森 (Hutchinson, 1983) 论述的矿床及其构造背景, 实质也是阐释不同成矿地球动力学环境的矿床类型。Kerrick (2000) 等在全球超大型金成矿省的特征、成因及地球动力学环境背景论述中, 提出“造山带型金矿”, 并认为中国和韩国的中生代造山带型金矿床产于非增生地球动力学环境、美国内华达卡林金矿和类卡林型金矿形成于从会聚向伸展转变的地球动力学环境。Jamieson(1991)论述的碰撞造山作用的 $p-t$ 轨迹表明, 一次强碰撞造山作用开始为挤压、后继是挤压-拉伸、最后是伸展的地球动力学环境。增加时间为量纲, 为认识造山过程地球动力学环境演变与不同矿床类型之间的对应性研究提供了新的依据。陆衍景 (2001) 论述了东秦岭金矿床, 形成于碰撞造山过程的挤压-伸展过渡期的地球动力学环境。

我国大陆边缘成矿带属环太平洋成矿带的外带, 其有与众不同独特性。将成矿地质作用作为造山作用的一个过程, 建立区域构造-岩浆活动-成矿作用总体模式, 是创新思维 (肖庆辉, 1993)。就胶东金矿集中区研究金矿成地球动力学环境而言, 本文首先阐释俯冲、碰撞造山过程地球动力学环境的演变, 尔后阐释不同地球动力学环境及其对应的、制约金矿宏观展布的构造系统-与金矿时空相随和成因相关的火成活动-不同类型金成矿作用。限于篇幅, 不同类型金成矿作用的详细说明将另文专论。认识金成矿地球动力学环境不仅对金成矿理论研究和判别金矿类型有引领意义, 而且对区域金矿勘查和生产矿山未知矿体定量预测也有指导作用。区内两大类金矿长期未被系统论述, 重要原因之一是两类金矿的成矿地球动力学环境缺乏系统的研究。

2 挤压-拉伸地球动力学环境与第一(早)期金成矿

胶东金矿集中区, 是由中生代华北板块向扬子板块俯冲、碰撞拼贴的强烈挤压及其后续作用的造山过程, 不同地球动力

* 教育部高等学校博士学科点基金资助项目 (97018706) 部分成果
第一作者简介 刘连登, 男, 1937 年生, 博士生导师, 从事成矿理论与成矿预测研究和教学。

学环境中形成的不同金矿类型组成。它们的动力源，与古太平洋板块 - 太平洋板块和欧亚板块的强力俯冲、挤压及其后续作用有关。

(1) 崔召岩体形成于挤压地球动力学环境。华北板块向扬子板块俯冲、碰撞的年代，在大别和胶东隆起的榴辉岩 p - t 轨迹中显示为、Sm-Nd 等时线在 $(209 \pm 31) \sim (244 \pm 11)$ Ma 间 (李曙光等, 1992)，大别榴辉岩 (原岩为基性岩) 1 m 以内的长英片麻岩锆石离子探针的内核 (原岩) 年龄为 1700 Ma、中层 (变质开始) 年龄为 230 ~ 220 Ma、外层 (变质结束) 年龄为 220 Ma (刘忠光等, 1996)。这一造山作用的挤压地球动力学环境在胶东金矿集中区的地质事件是，平度 - 莱西境内受近 EW 向构造制约的三处崔召岩体的产生 (因篇幅“胶东地区金矿地质简图”略)，其为同碰撞造山期花岗岩 (刘连登等, 1994) 成岩年龄为 243 ~ 230 Ma 间 (山东区调队, 1988)。尽管莱西南墅等金矿的容矿围岩为崔召岩体，但两者成因不相关 (刘连登等, 1996)。崔召岩体穿切招平断裂带的早期韧性剪切带 (DSZ)，即招平断裂带的早期 NE 向 DSZ 形成于崔召岩体之前 (刘连登等, 1996)。

(2) 郭家岭岩体形成于挤压 - 拉伸地球动力学环境。崔召岩体之后的郭家店 (毕廓、滦家河) 岩体，受 EW 向 (主) 和 NE 向 (次) 构造联合控制。制约台上 (玲南) 金矿的破头青构造带的早期近 EW 向 DSZ，主体位于滦家河岩体内 (刘连登等, 1998)，显然其形成时间晚于郭家店岩体。不同资料的郭家店岩体 Rb-Sr 等时线年龄在 142 Ma 左右。研究表明，郭家店岩体之后的郭家岭 (丛家、北截、上庄、纪山和三山岛等) 岩体，受 NE 向 (主) 和 EW 向 (次) 构造控制，成岩 Ar-Ar 年龄为 (134.8 ± 1.7) Ma (胡世玲等, 1987)，锆石离子探针年龄为 130 ~ 126 Ma (罗镇宽等, 2002)。上述两类岩体均为碰撞后岩体 (刘连登, 1994)。区内第一期金成矿与郭家岭岩体时空相随和成因相关，郭家岭岩体是部分金矿的围岩，两者为小时差，岩体的空间效应对金矿规模有一定影响 (刘连登, 1989；刘连登等, 1994)。

郭家岭岩体的巨大钾长石斑晶的长轴方向等值线和密度等值线，长轴方向均显示以 NNE 向为主，该方向与郯庐断裂的走向基本一致，也与太平洋板块 - 亚洲板块的缝合线平行 (陈光远等, 1993)。郭家岭岩体为郯庐断裂右旋拉张活动期的产物 (罗镇宽等, 2002)，应理解为形成于郯庐断裂大规模左行走滑之前。其成岩年龄与前述李曙光等 (1992) p - t 轨迹图上显示的，榴辉岩退变阶段的 K-Ar 年龄 (134 ± 0.5) Ma 基本一致。考虑胶莱盆地形成于拉伸地球动力学环境已有公论，而其中的青山组底砾岩中、含大量郭家岭岩体和石英脉的砾石 (姚凤良等, 1990；蔡新平等, 1994)。说明郭家岭岩体和第一期金成矿应早于青山组，并非典型的拉伸地球动力学环境，刘连登等 (1994) 以地球化学标志判别为非碰撞挤压环境。综上所述，郭家店岩体、郭家岭岩体和早期金成矿形成于挤压向拉伸转变的地球动力学环境 (见图 1)。

(3) NE 向菱形网络控矿构造系统。区内第一 (早) 期金成矿，形成的中深成热液金矿，姚凤良等 (1990) 已有论述。刘连登等 (1998) 认为此类中深成金矿，宏观展布受 NE 向菱形网络构造制约 (图略)。其以郯庐 (沂沭) 深断裂为主断裂，三山岛 - 曹家 (王学佑等, 1991)、新城 - 焦家 (刘连登等, 1994) 和招远 - 平度为支断裂，以及玲珑断裂为招平断裂的支断裂、九曲蒋家断裂为玲珑断裂的支断裂等共同组成。这些不同级别的断裂构造均为脆-韧性叠加长寿构造带，其由不同时期、不同性质的韧性剪切带 - 碎裂岩带 - 线形脆性断裂构造叠置而成，而不同于按“构造相”划分的“脆-韧”型剪切带 (刘连登等, 1994；刘连登等, 1996)。上述 NE 向菱形网络控矿构造系统、应理解为“巨型羽状走滑系”的次级走滑系。其形成于青山组火山岩形成之前，同样说明与挤压 - 拉伸地球动力学环境有关。

3 伸展地球动力学环境与第二 (晚) 期金成矿

认识伸展地球动力学环境金成矿的关键是：胶莱 (莱阳) 盆地形成时的地球动力学环境，莱阳盆地青山期火山-侵入岩与第二期金成矿的关系，约制第二期金矿宏观展布的网络控矿构造系统与青山期火山-侵入活动的关系。

(1) 莱阳火山盆地的伸展机制。胶莱盆地在本区主要是莱阳盆地，由莱阳组、青山组和王氏组构成。青山组位于莱阳组之上，两者的接触界线为不等时界线，是重要的岩相突变界线；王氏组在青山组之上，两者为角度不整合关系 (刘占声等，

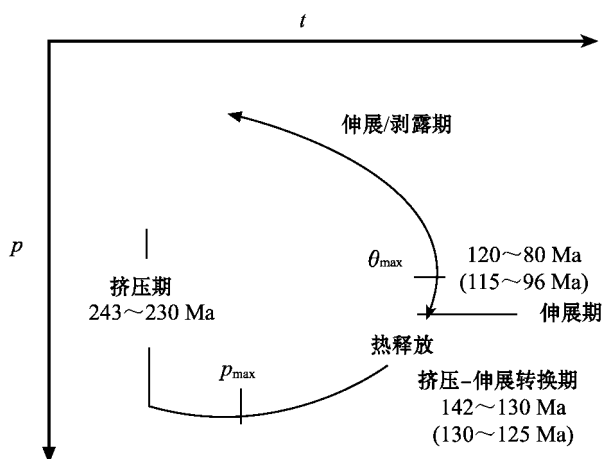


图 1 胶东金成矿地球动力学的 p - t 轨迹图

(底图据 Jamieson, 1991)

括号外为岩体或火山-侵入岩年龄，括号内为金成矿年龄、据成矿地质序列和各家 (含笔者) 测年值的综合

1995)。矿床地质及成因研究表明,本期金成矿主要与青山组火山-侵入岩(含脉岩)时空相随和成因相关(刘连登,1998)。青山组为一套火山-沉积岩系,但以火山岩为主。沂沭断裂带内各火山盆地的青山组火山岩的成分有很大差别,而莱阳盆地及其成员的藏格庄火山盆地的火山岩主要为英安岩系列。王德滋等(1999)将胶东地区和郯庐断裂带内的青山组火山岩,归为高钾钙碱性岩系和橄榄安粗岩系。并认为它们的形成与碰撞拼贴后续的伸展引张动力因素有关,橄榄安粗岩系火山岩主要起源于富集型地幔的部分熔融,而高钾钙碱性岩系最可能是中、下地壳物质经重熔再生而成。已有的金矿地质资料表明,沂沭断裂带内的浅成热液金矿主要与橄榄安粗岩系有关,而本金矿集中区的浅成热液金矿主要与钙碱性火山岩系有关。两者矿石物质组成明显有别,进一步说明浅成热液金矿与青山组不同岩系火山岩的成因关联。

在南北向应力带动下郯庐断裂带及其两侧左行大规模平移(魏斯禹等,1990),同时五莲-青岛-荣城断裂产生右行活动(张竹如等,2000),在两者共同作用下地壳减薄和盆地基底破裂而形成胶莱(莱阳)盆地,其形成于拉伸地球动力环境(见图1)。五莲-青岛-荣城断裂为榴辉岩带,其原为近EW向秦岭-大别榴辉岩带的东延部分,因郯庐断裂大规模左行走滑及向北推移而转变为NE向产状和目前的地质位置。

(2)青山组火山-侵入岩(含脉岩)的年代。青山组火山岩的成岩年龄,早期与目前的年龄值有很大不同。青山组火山岩下部安山岩的K-Ar年龄为127 Ma(山东地矿局,1976),藏格庄火山盆地内浅成-超浅成侵入岩的K-Ar年龄为127.6 Ma和120.6 Ma(易富章等,1979);青山组火山岩和侵入岩的年龄为110.08~123 Ma(陆克政等,1993),青山组火山岩的成岩年龄介于105~119 Ma间(刘占声等,1995)。烟台金矿毗邻藏格庄火山盆地东沿的火山岩,其成矿前超浅成石英斑岩的全岩Rb-Sr等时线年龄为(112.7±5) Ma(刘连登等,1998),与青山组有关的伟晶岩脉岩的K-Ar年龄为81 Ma(臧尧龄等,1985)。因此,青山组火山-侵入岩的形成于120~80 Ma是应接受的。前已述青山组火山岩的底砾岩中含大量的郭家岭花岗岩和石英脉的砾石,因此它们的年龄大于青山组的,诠释区内早、晚两期金成年龄必须考虑这一地质事实(见图1)。

(3)NE-NNE向入形网络控矿构造系统。晚期金矿宏观展布,受NE-NNE向的入形网络构造系统制约。该构造系统由五莲-青岛-荣城NE向主断裂,姚村-即墨-朱吴-店集-海阳-青岛-米山和崮山-朱村等支断裂组成(图略)。从全区说,控制栖霞-蓬莱浅成热液金矿带的五十里堡和尚古家断裂,也应视作该构造系统的成员。鉴于此构造系统的主断裂带内,中浅层次的韧性变形和脆性变形甚为普遍,并显示为右行剪切和强烈SN向挤压推覆叠加的形成机制(周剑波等,1995),整个构造系统的支断裂和主断裂以锐角交汇,说明相对于主断裂发生了走滑牵引、从而形成一系列支断裂显现NE-NNE或近SN的弧形状断裂构造的特征(图略)。鉴于该构造系统的主断裂与郯庐断裂大规模左行走滑有关联,故是拉伸地球动力学环境的产物。

4 早、晚两期热液成矿作用的叠加金矿

矿床类型,是一类本质特征相同矿床的自然类型。矿床本质特征,是一类矿与另一类矿床相区别的地质属性。本质特征相同,意味着有相同的成因,而不论其成因细节是否清楚(刘连登等,1998)。

(1)中深热液金矿与浅成热液金矿本质特征的对比参数。这两类金矿的本质特征完全不同,笔者对比的参数是矿体、矿石、蚀变、金矿与脉岩、成矿深度和成矿时代等。限于篇幅,说明从略。热液矿床(介质)水的来源和性质不具判别矿床成因的意义,热液矿床的成矿深度是其第二重要的问题(Barnes,1979)。成矿深度不仅是热液金矿的本质特征之一,而且对其他本质也有深刻的影响。区内金矿统计模型表明,中深热液金矿的规模(吨位)、矿体控制延深和金品位等,总体大于浅成热液金矿的(陈国华等,2001)。在时空分布上,这两类金矿也各不相同。中深成热液金矿主要分布在习称的近EW向招掖金矿带内,其东侧不超越凤仪店断裂。浅成热液金矿主要分布在NNE向的栖霞-蓬莱和牟平-乳山金矿带,以及莱阳盆地内及其周边。但下列浅成-超浅成脉岩密集带内的金矿则例外。

(2)早、晚两期金矿叠加带。浅成-超浅成岩体(含脉岩)与浅成热液金矿时空相随和成因相关,刘连登等(1998)已有论述。在EW向招掖中深成热液金矿带的招平断裂带下盘,玲珑西山矿段-招远-莱西-平度存在规模较大的、NNE向展布的浅成-超浅成脉岩密集带。在该脉岩带范围内,不乏第二期金成矿的浅成热液金矿床,或第二期金成矿与第一期金矿床(体)的叠加成矿。玲珑西山矿段,穿切早期中深成金矿体的花岗斑岩锆石离子探针法的U-Pb年龄为120 Ma(罗镇宽等,2002)。该花岗斑岩脉的边部冷凝边宽0.1~1 m、基质为细晶-隐晶结构、石英斑晶具蚀蚀现象、含石英闪长玢岩的捕虏体,后者的基质为交织结构、偶见杏仁状构造,花岗斑岩的金和银含量为 15×10^{-9} 和 110×10^{-9} (2件均值)、石英闪长玢岩的为 10×10^{-9} 和 26×10^{-9} (9件均值)^①。岩相学说明上述两类脉岩属超浅成深度相,年龄值说明它们属青山期的产物,金和银丰度值说明曾遭金矿化影响,而银显著大于金则反映青山期金成矿的特征。这与玲珑西山矿段的矿石中发现胶黄铁矿、白铁矿、镜铁矿和自然铜,说明存在晚期叠加成矿是一致的。招远十里堡-金翅岭矿床也见青山期超浅成脉岩,其中十里堡

① 冶金部天津地质研究院. 1988. 山东省招远县玲珑金矿田1:1万地质测量说明书.

含金的银矿床内银矿体穿切超浅成石英闪长玢岩、成矿年龄为 96 Ma (黄德业, 1984)。在莱西张家金矿, 具流纹构造的超浅成细晶花岗岩脉的全岩 Rb-Sr 等时线年龄为 (117.6 ± 2.3) Ma (本文), 被第二期金矿体穿切、矿石中含大量胶黄铁矿。在平度 1 号脉金矿内, 见具球粒结构的闪长玢岩穿切早期金成矿形成的矿体, 其本身又遭受晚期金矿化的影响, 其早、晚两期金叠加成矿的各自成矿阶段及矿石物质成分已被较系统的论述(杨锋等, 《黄金》, 2001)。1993 年, 山东地质六队在大尹格庄金矿勘探报告中, 论述了该矿床存在早晚两期叠加成矿。区内早、晚两期金叠加成矿的波及范围和强烈程度, 超出人们通常的想像。笔者认为, 早、晚两期叠加成矿和明金-块金的独立成矿, 是区内超大型金矿形成的内因^①。

5 讨论与结论

世界级胶东金矿集中区的金成矿, 是中生代陆陆俯冲、碰撞造山作用过程的重要地质事件。早期中深热液金矿(三种亚类)形成于挤压-伸展过渡地球动力学环境, 晚期浅成热液金矿(7 种亚类, 含卡林型金矿)形成于伸展地球动力学环境。以分析区域控矿网络构造系统-火成活动与金矿的时空和成因关系-金成矿作用在时空的演化、阐释金成矿地球动力学环境, 是研究造山带型金矿的新取向。

以矿床模型的思维和方法(刘连登, 1996), 据“矿床本质特征”实施金矿分类是可行和可取的。“多源成矿说”的矿床成因新论是, 以“成矿地球动力学环境”、“矿床产出地质背景”、“成矿条件”和“成矿物质来源”为制约, 理论诠释“特征”的成因和形成过程。因此, 理论和应用研究均应以认识矿床本质特征为根本。区内两大类金矿迄今未见系统论述, 重要原因之一是两种金成矿地球动力学环境缺乏系统研究, 另一重要原因是两类金矿本质特征未被有效的描述。本文研究表明, 成矿地球动力学环境对认识矿床本质特征有重要的引领作用, 也是诠释金矿成因的制约因素之一。区内由于金矿类型“误判”, 导致重大经济损失已有惨痛的实例。

“批判”热液矿床的“温度-深度”分类, 并不等于否定“温度-深度”是热液矿床两个重要物理化学参数。相对而言, 深度参数较温度参数更有意义。如, 我国的浅成热液金矿往往是中低温时形成的, 其原因胡受奚等(1998)已有论述。成矿深度与控制矿体延深呈正相关的总趋势, 成矿深度对矿床其它本质特征的影响(如不同成矿深度热液脉型金矿的矿体分段富集样式不同, 参见本论文集的陈国华等的论文), 因此必须重新认识成矿深度的意义。本文采用“深度-特征”划分区内两类热液金矿, 正是出于这一考虑。区内两类金矿“深度-特征”分类的详细说明, 将另文专论。

上世纪 80 年代开始, 区内金矿成矿的同位素年龄数据与日俱增, 同时各家测定值之间的矛盾也越发明显。由于区内存在两类不同成矿地球动力学环境、两类不同地质时期形成的金矿, 也由于两类不同地质时期金成矿的叠加现象, 因此测年样品的选取时应予充分考虑。鉴于青山组火山岩底砾岩中含脉石英的砾石, 而区内第二期石英脉形成于青山组火山岩之后, 因此有理由认为底砾岩中的脉石英属早期金成矿的产物。本文图中所列的两类金矿的成矿年代考虑如下准则: 区内存在早、晚两期成矿地球动力学环境中形成的金成矿, 青山组火山岩前与后各有一期金成矿, 两类金矿成矿地质序列(按各类地质体之间的穿切关系排序), 以合理解释矿床地质事实为前提, 综合各家(含笔者)的测定值。

参 考 文 献

- 陈光远, 孙岱, 周珣若, 等. 1993. 胶东郭家岭花岗闪长岩成因矿物学与金矿化. 武汉: 中国地质大学出版社. 1~226.
- 陈国华, 刘连登, 吴国学, 等. 2001. 胶东脉型金矿定量统计模型. 黄金地质, 7(4): 33~44.
- 胡受奚, 王鹤年, 王德滋, 等. 1998. 中国东部金矿床地质地球化学. 北京: 地质出版社. 1~329.
- 李曙光, 肖益林, 陈移之, 等. 1993. 秦岭-大别山带形成的四阶段演化模型. 见: “七五”地质科技重要成果学术交流会议论文选集. 北京: 北京科学技术出版社. 121~126.
- 刘连登, 陈国华, 刘青延, 等. 1998. 烟台金矿本质特征描述及其意义. 矿床地质, 17(增刊): 295~298.
- 罗镇宽, 苗来成. 2002. 胶东招徕地区花岗岩和金矿床. 北京: 冶金工业出版社. 1~157.
- 涂光炽, 等. 2000. 中国超大型矿床(). 北京: 科学出版社. 1~584.
- 姚凤良, 刘连登, 孔庆存, 等. 1990. 胶东西北部脉状金矿. 长春: 吉林科技出版社. 1~234.
- 张贻侠, 寸圭, 刘连登, 等. 1996. 中国金矿床: 进展与思考. 北京: 地质出版社. 10~29.
- Barnes H L. 1979. 热液矿床地球化学(上册). 陈浩疏译. 1985. 北京: 地质出版社. 1~441.
- Kerrick R, Goldtoro R, Groves D. 等(2000). 2001. 超大型金成矿省的特征、成因及地球动力学背景(张静等译). 见: 大陆动力学与成矿作用. 北京: 地震出版社. 5~72.
- Jamieson R A. 1991. *P-T-t* Paths of collisional orogenesis: *Geologie Rundschau*, 180, 321~332.
- Mitchell A H G and Garson M S. 1981. *Mineral Deposit and Global Tectonic Settings*: Academic Press, 405.

① 刘连登等. “超大玲珑”块金发现与思考. 中国科学(D 辑), 待刊.